

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента**

на диссертацию  
**ШКОДЫ ИРИНЫ ВАСИЛЬЕВНЫ**

**«МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОБСТВЕННЫХ  
И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ В СТЕРЖНЕВЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ  
КОНСТРУКЦИЯХ»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
научной специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

**Актуальность темы**

Эффективность и механическая безопасность динамически нагруженных стержневых конструкций напрямую зависят от способности применяемых материалов и конструктивных решений рассеивать механическую энергию и ограничивать амплитуды вынужденных колебаний. Одним из перспективных композитных материалов, сочетающих высокую прочность и технологичность стального профиля с хорошими демпфирующими свойствами бетонного заполнения, является трубобетон.

Однако, как убедительно показано в диссертации на основе обзора, подавляющее большинство работ по трубобетону (как отечественных, начиная с исследований Г.П. Передерия, А.А. Гвоздева, О.Я. Берга, так и зарубежных – J. S. Sewell, K. Sakino, R. Park и др.) посвящено статическому нагружению. Динамические характеристики трубобетона – собственные частоты, параметры затухания, коэффициент неупругой работы, а также влияние продольного сжатия на динамический отклик – изучены значительно хуже, чем его статические характеристики. Это связано с отсутствием серийно выпускаемых испытательных установок для динамических испытаний, недостаточной методической базой, отсутствием масштабных теоретических исследований, а также с тем, что действующие нормативные документы (например, свод правил по сталежелезобетонным конструкциям) не содержат рекомендаций по расчету трубобетона на динамические нагрузки.

Следовательно, **актуальность диссертационной работы** Шкоды Ирины Васильевны определяется необходимостью восполнения этого пробела: требуется разработка и экспериментальная апробация методик, позволяющих количественно оценивать динамические параметры трубобетонных стержней при свободных и вынужденных колебаниях в широком диапазоне осевых усилий и геометрических

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

21.09.2016г.

размеров. Кроме того, важными являются экспериментальное исследование масштабных моделей каркасов для эксплуатации подъемно-транспортных машин, обоснование возможности переноса результатов модельных испытаний на натурные конструкции и разработка рекомендаций по рациональному проектированию узловых соединений. Таким образом, тема диссертации является актуальной как с научной точки зрения в части развития экспериментальных методов исследования композитных стержневых систем, так и с практической, поскольку ее результаты могут быть использованы при оценке динамического поведения конструкций, воспринимающих вибрационные и импульсные воздействия.

### **Научная новизна**

В ходе выполнения работы соискателем получены следующие новые научные результаты, отличающиеся от известных ранее:

1. Предложен экспериментальный подход к оценке динамического поведения предварительно сжатых трубобетонных стержней при свободных и вынужденных поперечных колебаниях. Подход позволяет исследовать изменение регистрируемых частотных характеристик и параметров затухания при ступенчатом повышении продольной сжимающей нагрузки. По экспериментальным данным построена полиномиальная аппроксимация зависимости приведенного коэффициента  $E_N$  от величины осевого усилия.

2. Выполнено экспериментальное сравнение динамических характеристик масштабных каркасных систем с полыми стальными и трубобетонными стойками. Установлено, что введение бетонного сердечника изменяет первые собственные частоты и параметры затухания, причем величина и знак демпфирующего эффекта существенно зависят от жесткости основания и дополнительной нагрузки.

3. Разработан вычислительный алгоритм, позволяющий на основе серий численных экспериментов отбирать рациональные конструктивные схемы фланцевых соединений стальных трубчатых профилей. Алгоритм обеспечивает компромисс между металлоемкостью узла и его несущей способностью.

4. Предложен экспериментально-расчетный метод назначения интегральных жесткостных параметров для представления трубобетонной конструкции эквивалентным стержневым конечным элементом.

### **Теоретическая значимость**

Работа вносит вклад в развитие методов экспериментальной механики композитных стержневых систем. Систематизированы и уточнены подходы к

регистрации и обработке вибрационных откликов трубобетонных образцов. Полученные эмпирические зависимости влияния продольного сжатия на динамические характеристики расширяют экспериментальную базу для последующего построения моделей трубобетона. Для исследованных образцов в рамках принятой автором расчетной модели получены оценки коэффициента неупругой работы, позволяющие сопоставить демпфирующие характеристики трубобетона с демпфирующими характеристиками стали и железобетона.

### **Практическая значимость**

Разработанные автором методики и созданное на их основе программное обеспечение, представленное двумя зарегистрированными программами для ЭВМ. Предложенные способы испытаний и обработки данных позволяют на стадии проектирования обоснованно назначать динамические параметры трубобетонных элементов. Алгоритмы выбора рациональных фланцевых узлов дают возможность снизить расход стали без ухудшения несущей способности. Внедрение результатов подтверждено актами АО «ТЕМП-АВИА». Результаты также использованы в рамках проекта «Техноплатформа 2035» и в учебном процессе ННГАСУ, что свидетельствует о востребованности данных разработок.

### **Достоверность и обоснованность. Методы исследования.**

Достоверность отдельных экспериментальных результатов подтверждается повторными измерениями при повторных возбуждениях колебаний: для приведенного в диссертации примера выполнено четыре независимых измерения, а максимальное отклонение определяемой частоты от среднего значения составило 0,25%. Экспериментальные исследования выполнены с применением акселерометрических и тензометрических средств измерения. Обоснованность результатов обеспечивается сочетанием аналитических, экспериментальных и численных методов, повторяемостью отдельных измерений, публикацией и апробацией разработанных методик.

### **Структура и состав диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка публикаций автора по теме диссертации, списка литературы (284 наименования) и приложения. Общий объем работы составляет 162 страницы, в работе представлены 77 рисунков и 15 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность, показана степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна,

теоретическая и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту. Приведены сведения о финансировании, апробации, публикациях и личном вкладе автора.

**Первая глава** содержит детальный анализ более 280 источников. Рассмотрены основные типы динамических воздействий на стержневые конструкции (импульсные, гармонические, случайные, сейсмические), систематизированы существующие экспериментальные работы по динамике бетонов и железобетонов (включая исследования А.М. Брагова, А.К. Ломунова, Л.А. Игумнова и др.). Отдельно проанализировано состояние проблемы применительно к трубобетону. Показано, что методическая база динамических испытаний трубобетонных элементов развита недостаточно, а имеющиеся данные о влиянии продольного сжатия на их частотные и демпфирующие характеристики ограничены и в отдельных случаях противоречивы, что определило направление собственных исследований автора.

**Вторая глава** посвящена разработке и апробации методик испытаний трубобетонных стержней при свободных и вынужденных поперечных колебаниях. При исследовании свободных колебаний испытан шарнирно опертый образец длиной 700 мм и диаметром 76 мм при изменении продольной сжимающей силы от 6,8 до 36,5 кН, колебания которого возбуждались пружинным ударником. При исследовании вынужденных колебаний использовался электродвигатель с эксцентричным диском, работавший при трех уровнях мощности – 80, 100 и 120 Вт, при этом продольная сила изменялась от 1,3 до 30,6 кН. Испытания выполнены для образцов трех диаметров. Получены зависимости регистрируемых частотных характеристик и параметров затухания от продольной силы, а также построена полиномиальная аппроксимация зависимости приведенного коэффициента  $E_N$  от осевой нагрузки. Выполнено сопоставление расчетных показателей демпфирования трубобетона, стали и железобетона.

**Третья глава** содержит сравнительные испытания двух масштабных моделей каркасов в масштабе 1:6 – с полыми стальными колоннами (МКП) и с трубобетонными колоннами (МКТ). Свободные затухающие колебания возбуждались однократным толчком тележки, перемещавшейся по направляющим, а жесткость основания регулировалась изменением числа пружин. В основной серии рассматривались положения каркаса  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $90^\circ$  при дополнительной нагрузке 0, 10 и 20 кг. Отдельная серия при положении каркаса  $0^\circ$  включала нагрузки 8, 12 и 25 кг. По показаниям датчиков на основании и колонне получены усредненные значения первых собственных частот. Автором рассчитаны относительное изменение частоты и декремент колебаний. Величина и знак

изменения декремента зависят от конфигурации системы, а максимальное увеличение, равное 160,88%, получено при нагрузке 20 кг для системы с двумя пружинами.

**Четвертая глава** состоит из двух крупных блоков. В первом блоке в среде IDEA StatiCa выполнено параметрическое исследование фланцевых узлов для круглых и прямоугольных труб. Рассмотрено 10 вариантов исполнения (с прорезкой фланца и без нее, с ребрами жесткости и без, с различным расположением ребер). По результатам вычислительных экспериментов построены зависимости несущей способности от толщины фланца (25 – 40 мм), выявлены рациональные конструкции, обеспечивающие минимальную материалоемкость при требуемой прочности. Во втором блоке представлена экспериментальная методика определения интегральных жесткостных характеристик трубобетона – продольной жесткости путем испытаний коротких образцов на осевое сжатие и изгибной жесткости путем испытаний длинных образцов на двухопорный изгиб. Показано, как эти экспериментально найденные параметры могут быть использованы для создания эквивалентной стержневой конечно-элементной модели в ПК SCAD. Выполнена расчетная проверка прочности элементов трубобетонной колонны с назначенными характеристиками, продемонстрировавшая возможность применения предложенного подхода при формировании стержневой модели в ПК SCAD.

В **заключении** подведены итоги работы, сформулированы основные выводы, которые соответствуют поставленным задачам: разработаны и апробированы методики динамических испытаний отдельных стержней и каркасов; получены количественные зависимости влияния осевой нагрузки на частоты и демпфирование; обоснованы рациональные типы фланцевых соединений; предложен метод определения эквивалентных жесткостей для стержневого моделирования. Также приведены сведения о внедрении результатов, регистрации программ для ЭВМ и публикациях.

### **Соответствие диссертации паспорту специальности**

#### **1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин**

Исследование соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

**п.3.** Теория колебаний механических систем;

**п.13.** Динамика систем, состоящих из абсолютно твердых и деформируемых тел, в том числе машин, приборов и конструкций;

**п.14.** Математическое и компьютерное моделирование кинематики и динамики механических систем, в том числе машин, приборов и их элементов при динамических, статических, тепловых и других видах воздействий;

**п.15.** Экспериментальное исследование динамики систем тел, в том числе летательных аппаратов, машин, приборов и конструкций.

### **Основные вопросы и замечания**

Несмотря на общую положительную оценку диссертации, отмечаются следующие **замечания**:

1. Автор делает акцент на применении трубобетонных конструкций в машиностроении и системах подъемно-транспортных машин, однако в работе недостаточно раскрыта значимость разработанных методик для уникальных объектов гражданского строительства. В частности, не приведен современный пример ЖК «Бадаевский» в Москве, где конструктивная схема основана на системе 35-метровых трубобетонных колонн, воспринимающих значительные вертикальные и горизонтальные нагрузки. Для подобных сооружений актуальны расчеты на динамические воздействия, включая пульсационную составляющую ветровой нагрузки, поэтому рассмотрение такого примера усилило бы обоснование практической значимости диссертационного исследования и расширило бы область его применимости.

2. Требуется дополнительное физическое пояснение установленный рост собственной частоты трубобетонного стержня при увеличении продольной сжимающей силы. Данный результат является интересным, но он отличается от классических представлений о снижении частоты сжатого стержня при росте продольной силы. В работе этот эффект связывается с изменением упругих свойств системы, однако желательно подробнее раскрыть роль контактного взаимодействия стали и бетона, трехосного напряженного состояния бетонного сердечника и возможного изменения сцепления компонентов.

3. В формулах (2.15)–(2.18) допущена несогласованность между исходным дифференциальным уравнением и выражениями для амплитуды и фазового сдвига. В формуле (2.17) первое слагаемое под корнем должно быть возведено в квадрат, диссипативное слагаемое должно иметь вид  $(2\gamma\omega)^2$ , а при использовании  $F_0$  в числителе необходимо учитывать множитель  $(1/m)$ . Кроме того, символ  $\gamma$  используется в работе для двух различных физических характеристик: коэффициента неупругой работы материала (стр. 61) и коэффициента сопротивления среды (стр. 68).

4. В формулах (2.10) и (2.11), а также в таблице 2.2 смешаны логарифмический декремент и коэффициент экспоненциального затухания. Выражение с множителем  $(1/T)$  имеет размерность  $[с^{-1}]$  и определяет коэффициент затухания, тогда как логарифмический декремент является безразмерной величиной.

5. При описании численного моделирования фланцевых узлов целесообразно подробнее представить параметры конечно-элементных моделей: типы элементов, характеристики контактов, моделирование предварительного натяжения болтов, учет пластичности, критерии сеточной независимости численных решений. Это повысило бы воспроизводимость результатов и упростило бы использование предложенного алгоритма другими исследователями и проектировщиками. Кроме того, в диссертации недостаточно полно представлена независимая верификация результатов, полученных в IDEA StatiCa, путем сопоставления с аналитическими решениями, экспериментальными данными либо расчетами в других программных комплексах. Недостаточное раскрытие расчетных предпосылок и процедуры верификации снижает воспроизводимость исследования и убедительность выводов о рациональности предложенных конструктивных решений.

Замечания не носят принципиального характера и не ставят под сомнение общую положительную оценку работы.

#### **Апробация и публикации результатов**

Основные результаты диссертации достаточно полно отражены в печати: опубликовано 27 научных работ, в том числе 3 статьи в журналах из перечня ВАК по специальности 1.1.7 (включая приравненные к ним публикации в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus), 7 статей в рецензируемых изданиях по смежным специальностям, одна коллективная монография, два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, а также 14 публикаций в сборниках трудов конференций. Результаты работы докладывались на 13 международных и всероссийских научных форумах (Москва, Нижний Новгород, Владимир, 2020 – 2025 гг.).

#### **Вывод официального оппонента по качеству работы и квалификации автора**

Диссертация написана четким научным языком, графические материалы наглядны и информативны. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. Все защищаемые положения обоснованы, новизна результатов подтверждена экспериментальными данными и публикациями. Личный вклад

автора в разработку методик, проведение экспериментов, обработку результатов и создание программного обеспечения является определяющим.

Считаю, что диссертация «МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОБСТВЕННЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ В СТЕРЖНЕВЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ» является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, ШКОДА ИРИНА ВАСИЛЬЕВНА, продемонстрировала необходимую квалификацию и заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Официальный оппонент,

кандидат технических наук (2.1.9 – «Строительная механика»), старший преподаватель кафедры «Строительная и теоретическая механика»



Саиян Сергей Гургенович

+7 (495) 287-49-14

Berformert@gmail.com



Саиян Сергей Гургенович

Даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.2.327.13

Подпись старшего преподавателя кафедры «Строительная и теоретическая механика» Саияна Сергея Гургеновича заверяю:

НАЧАЛЬНИК УПРАВЛЕНИЯ  
ПО РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ  
Т. И. ЧЕРЕПОВА



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»). Адрес: 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. E-mail: kanz@mgsu.ru, тел.: +7 (495) 287-49-14

С отзывом ознакомлена 24.09.2026 Шкода И.В.  
Шкода И.В.